



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 198 07 120 A 1

⑮ Int. Cl.<sup>6</sup>:

G 02 B 27/28

// G03F 7/20

DE 198 07 120 A 1

⑯ Aktenzeichen: 198 07 120.5  
⑯ Anmeldetag: 20. 2. 98  
⑯ Offenlegungstag: 26. 8. 99

⑦ Anmelder:

Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

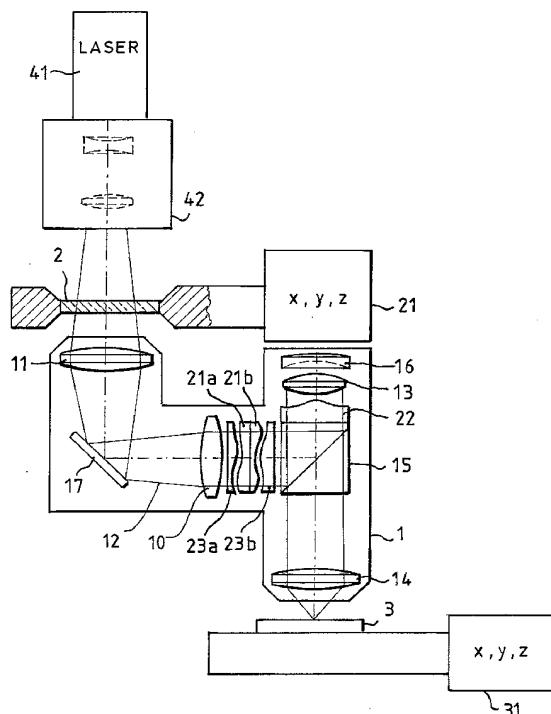
⑦ Erfinder:

Fürter, Gerhard, 73479 Ellwangen, DE; Wagner, Christian, Dr., 73431 Aalen, DE; Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbronn, DE; Kaiser, Winfried, 73431 Aalen, DE; Gerhard, Michael, Dr., 73432 Aalen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑯ Optisches System mit Polarisationskompenator

⑯ Optisches System mit mindestens einem optischen Element (2, 11, 12), die eine Störung der Polarisationsverteilung über den Querschnitt eines Lichtbündels (10) bewirkt, wobei mindestens ein doppelbrechendes optisches Element (22) vorgesehen ist mit über den Querschnitt unregelmäßig varierender Dicke, derart, daß die Störung der Polarisationsverteilung zumindest teilweise kompensiert wird.



DE 198 07 120 A 1

## Beschreibung

In einem optischen System, das mit Licht definierter Polarisation – z. B. linear polarisiert – ausgeleuchtet wird, tritt eine lokal unterschiedliche Störung der Polarisation auf, verursacht unter anderem durch den von der Polarisationsrichtung abhängigen Reflexionsgrad an den geneigten optischen Grenzflächen und durch Spannungsdoppelbrechung in Linsen. Nach einem folgenden Analysator treten dann lokale Helligkeitsschwankungen auf.

Ein System, bei dem dieser Effekt von Bedeutung ist, sind die Projektionsbelichtungsanlagen der Mikrolithographie mit linear polarisiertem Excimer-Laser im DUV und katadioptrischem Reduktionsobjektiv mit Polarisationsstrahlteiler, wie z. B. aus der DE 196 16 922 (US Serial No. 08/845,384 vom 15.04.1997) bekannt, welche Patentanmeldung durch das Zitat hier voll enthalten sein soll.

Kompensatoren zur kontinuierlich veränderbaren Drehung einer Polarisationsrichtung sind bekannt, z. B. in Form des Soleil-Babinet-Kompensators, allerdings nur mit einheitlicher Wirkung für den ganzen Lichtbündelquerschnitt.

Phasenkorrekturplatten zur Wellenfrontkorrektur in Präzisionsoptiken z. B. durch Ionenstrahlätzern mit "Nanosphären"-Feinstprofil bearbeitet, sind zum Einsatz in Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen bekannt.

Doppelbrechende Kristalle von Magnesiumfluorid und von Quarz sind zur Herstellung polarisationsoptischer Elemente mit Transmission im tiefen Ultravioletten (DUV) bei z. B. 193 nm geeignet. Daneben sind auch Elemente mit Spannungsdoppelbrechung, z. B. nach DE 196 37 563, bekannt.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung anzugeben, mit der lokale Störungen des Polarisationszustandes von Licht in einem optischen System ausgeglichen werden können. Speziell sollen die durch Polarisationsstörungen bewirkten Störungen der Homogenität in optischen Systemen mit Polarisationsstrahlteiler, wie in katadioptrischen Reduktionsobjektiven vom oben angegebenen Typ, ausgeglichen werden. Dazu ist ein Herstellverfahren anzugeben.

Gelöst wird die Aufgabe durch ein optisches System nach Anspruch 1 mit mindestens einem doppelbrechenden Element mit unregelmäßig varierender Dicke als Polarisationskompensator. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 8, wobei die Ansprüche 5, 6 und 7 auch die bevorzugte Anwendung angeben.

Besonders vorzuziehen ist die Ausführung nach Anspruch 2, bei der paarweise doppelbrechende Elemente mit gegeneinander verdrehten (vorzugsweise um 45°) Hauptachsen vorgesehen sind. Damit können wirklich hinsichtlich der Orientierung beliebige Polarisationsstörungen ausgeglichen werden.

Ebenso optimiert die Anordnung von Kompensationsplatten aus isotropem Material nach Anspruch 3 die Korrektur.

Das erfindungsgemäße Herstellverfahren wird in Anspruch 8 angegeben, dazu in den Ansprüchen 9 und 10 vorteilhafte Ausführungsformen.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung.

**Fig. 1** zeigt schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage mit doppelbrechenden Polarisations-Korrekturelementen.

**Fig. 2** zeigt schematisch zwei Polarisations-Korrekturelemente mit verschiedenen Hauptachsenrichtungen.

Kern der Projektionsbelichtungsanlage nach **Fig. 1** ist ein katadioptrisches Reduktionsobjektiv **1**, welches eine Maske (Retikel) **2** auf einem Wafer **3** verkleinert abbildet. Maske **2** wie Wafer **3** sind an Halte- und Positioniersystemen **21**, **31**

angebracht, mit denen die genaue Positionierung und die Stepan-Repeat- bzw. Step-and-Scan-Abläufe durchgeführt werden.

Durch einen Laser **41**, insbesondere einen linear polarisierten DUV-Excimer-Laser, mit nachgeordneter Beleuchtungs-Optik **42**, wird die Maske **2** geeignet beleuchtet.

Das Reduktionsobjektiv **1** besteht zunächst in bekannter Weise aus Linsengruppen **11** bis **14**, dem Polarisationsstrahlteilerwürfel **15**, dem Umlenkspiegel **17**, dem Konkavspiegel **16** und einer Lambdaviertelplatte **22**.

Aus den verschiedensten Einflüssen (u. a. Spannungsdoppelbrechung) resultierend ergibt sich im Strahlengang eine Störung des Polarisationszustands mit über den Querschnitt lokal varierender Richtung und Größe. Damit wird die Strahlteilung am Polteiler inhomogen, das Bild wird gestört, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Erfindungsgemäß sind im Strahlengang **10** hinter den Linsengruppen **11**, **12** doppelbrechende optische Elemente **21a**, **21b** (mindestens eines) vorgesehen, deren Dicke über den Querschnitt unregelmäßig ist, und welche die lokalen Störungen der linearen Polarisierung im Strahlengang **10** kompensieren – zumindest teilweise –.

Zur optimalen Erfassung und Korrektur aller Polarisationsrichtungen sind zwei Elemente **21a**, **21b** erforderlich, deren Hauptachsen MCA gegeneinander verdreht sind, am besten um 45°, wie **Fig. 2** zeigt.

Auch die Lambdaviertelplatte **22** ist im Beispiel derartig in ihrer Dicke korrigiert und kompensiert die im weiteren Strahlengang auftretenden Polarisationsfehler und ggf.

Restfehler. Bei ihr ist zu beachten, daß sie vom Lichtbündel **10** zweimal durchlaufen wird.

Platten **23a**, **23b** aus isotropem Material (Quarzglas) weisen zu den Korrekturplatten **21a**, **21b** optisch negative Formen auf. Dadurch wird der optische Weg über dem ganzen Querschnitt des Lichtbündels **10** wieder gleich, so daß die Wellenfront durch die Kombination der Elemente **21a**, **21b** und Platten **23a**, **23b** nicht gestört wird.

Hergestellt werden können die Freiformflächen der Elemente **21a**, **21b** und der Platten **23a**, **23b** durch Ionenstrahl-Bearbeitung. Die Dickenmodulation der Elemente **21a**, **21b** bzw. Platten **23a**, **23b** bewegt sich dabei um Werte bis ca. 3 µm.

Zur Vermeidung von Reflexionen an den Grenzflächen werden die Elemente **21a**, **21b** und Platten **23a**, **23b** untereinander und mit dem Strahlteilerwürfel **15** möglichst ohne Luftspalt vereinigt. Dies gelingt durch Ansprengen oder durch Verkitten, letzteres allerdings nicht im DUV-Wellenlängenbereich.

Aus dem gleichen Grund werden die Platten **23a**, **23b** aus isotropem Material vorzugsweise zu einem Element vereinigt einteilig ausgeführt.

Vorteilhaft sowohl von der Herstellung wie von der genauen Paßform und dem spaltfreien Fügen ist es, wenn die Platten **23a**, **23b** jedoch durch Beschichten der bearbeiteten Fläche der Polarisationskompensator-Elemente **21a**, **21b** mit isotropem Material – z. B. CVD-Abscheidung von Quarzglas – erzeugt werden, das zum Schluß optisch poliert wird. Die aus den unterschiedlichen Brechungsindizes resultierende Reststörung der Wellenfront kann durch Ionen- oder Atomstrahl-Bearbeitung mit kleineren Höhendifferenzen noch korrigiert werden.

Die als Polarisations-Korrektorelement ausgebildete Lambdaviertelplatte **22** ist nur exemplarisch allein gestellt, auch hier ist die Kombination mit einem isotropen (amorphen) Kompensator und die bauliche Vereinigung mit benachbarten Elementen, insbesondere durch Ansprengen an den Strahlteilerwürfel **15**, sinnvoll und vorteilhaft.

Die Form der Korrekturflächen der Elemente **21a**, **21b**, **22**

und Platten **23a**, **23b** wird vorzugsweise für jedes Objektiv einzeln festgelegt. Dazu kann die Qualität von Testbelich-  
tungen ausgewertet werden, oder es kann mit Rastersonden  
die lokale Polarisation bzw. die Wellenfront im Querschnitt  
des Lichtbündels **10** bestimmt werden.

5

## Patentansprüche

1. Optisches System mit mindestens einem optischen Element (**2**, **11**, **12**), die eine Störung der Polarisationsverteilung über den Querschnitt eines Lichtbündels (**10**) bewirkt, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein doppelbrechendes optisches Element (**22**) vorgesehen ist mit über den Querschnitt unregelmäßig variierender Dicke, derart daß die Störung der Polarisationsverteilung zumindest teilweise kompensiert wird. 10
2. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei doppelbrechende optische Elemente (**21a**, **21b**) mit variierender Dicke vorgesehen sind, deren Hauptachsen gegeneinander 15 verdreht sind, vorzugsweise um 45°.
3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Platte (**23a**, **23b**) aus isotropem Material vorgesehen ist, mit über den Querschnitt variierender Dicke, derart daß Störungen 20 der Wellenfront durch das doppelbrechende optische Element (**21**) ausgeglichen werden.
4. Optisches System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine obengenannte Platte (**23a**, **23b**) und ein obengenanntes doppelbrechendes optisches Element (**21a**, **21b**) vereinigt sind. 25
5. Optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Polarisationsstrahlteiler (**15**) enthalten ist.
6. Optisches System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein besagtes doppelbrechendes optisches Element (**21a**, **21b**, **22**) und/oder eine obengenannte Platte (**23a**, **23b**) mit dem Polarisationsstrahlteiler (**15**) baulich vereinigt ist. 30
7. Optisches System nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß es ein katadioptrisches Objektiv (**1**) enthält, in dem der Polarisationsstrahlteiler (**15**) angeordnet ist, und daß ein besagtes doppelbrechendes optisches Element (**21a**, **21b**) im Strahlengang vor dem Polarisationsstrahlteiler (**15**) angeordnet ist. 35
8. Optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 5, 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein besagtes doppelbrechendes optisches Element (**22**) im vom Lichtbündel (**10**) doppelt durchlaufenen Weg zwischen Polarisationsstrahlteiler (**15**) und Konkavspiegel (**16**) angeordnet ist. 40
9. Verfahren zur Herstellung eines optischen Systems, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teilsystem (**11**, **17**, **12**) fertig montiert und justiert wird, dieses polarisationsoptisch präzisionsvermessen wird, entsprechend 45 den polarisationsoptischen Meßdaten mindestens ein doppelbrechendes optisches Element (**21a**, **21b**, **22**) lokal unterschiedlich abgetragen wird, vorzugsweise durch Ionenstrahlbearbeitung, und dann dieses Element (**21a**, **21b**, **22**) in den Strahlengang (**10**) hinter dem genannten Teilsystem (**11**, **17**, **12**) eingebracht wird. 50
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweites doppelbrechendes optisches Element (**21b**) mit gegenüber dem ersten (**21a**) verdrehter Hauptachse (MCA) ebenfalls lokal unterschiedlich abgetragen wird und in den Strahlengang (**10**) eingebracht wird. 55
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich mindestens eine Wellenfrontkompensations-Platte (**23a**, **23b**) aus isotropem Material hergestellt wird, mit zu den obengenannten Elementen (**21a**, **21b**) optisch komplementärer Dickenverteilung über dem Querschnitt, und daß diese den obengenannten Elementen (**21a**, **21b**) benachbart in den Strahlengang (**10**) eingebracht wird. 60
12. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Platte (**23a**, **23b**) aus isotropem Material hergestellt wird, mit zu den obengenannten Elementen (**21a**, **21b**) optisch komplementärer Dickenverteilung über dem Querschnitt, und daß diese den obengenannten Elementen (**21a**, **21b**) benachbart in den Strahlengang (**10**) eingebracht wird. 65

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich mindestens eine Wellenfrontkompensations-Platte (**23a**, **23b**) aus isotropem Material hergestellt wird, mit zu den obengenannten Elementen (**21a**, **21b**) optisch komplementärer Dickenverteilung über dem Querschnitt, und daß diese den obengenannten Elementen (**21a**, **21b**) benachbart in den Strahlengang (**10**) eingebracht wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

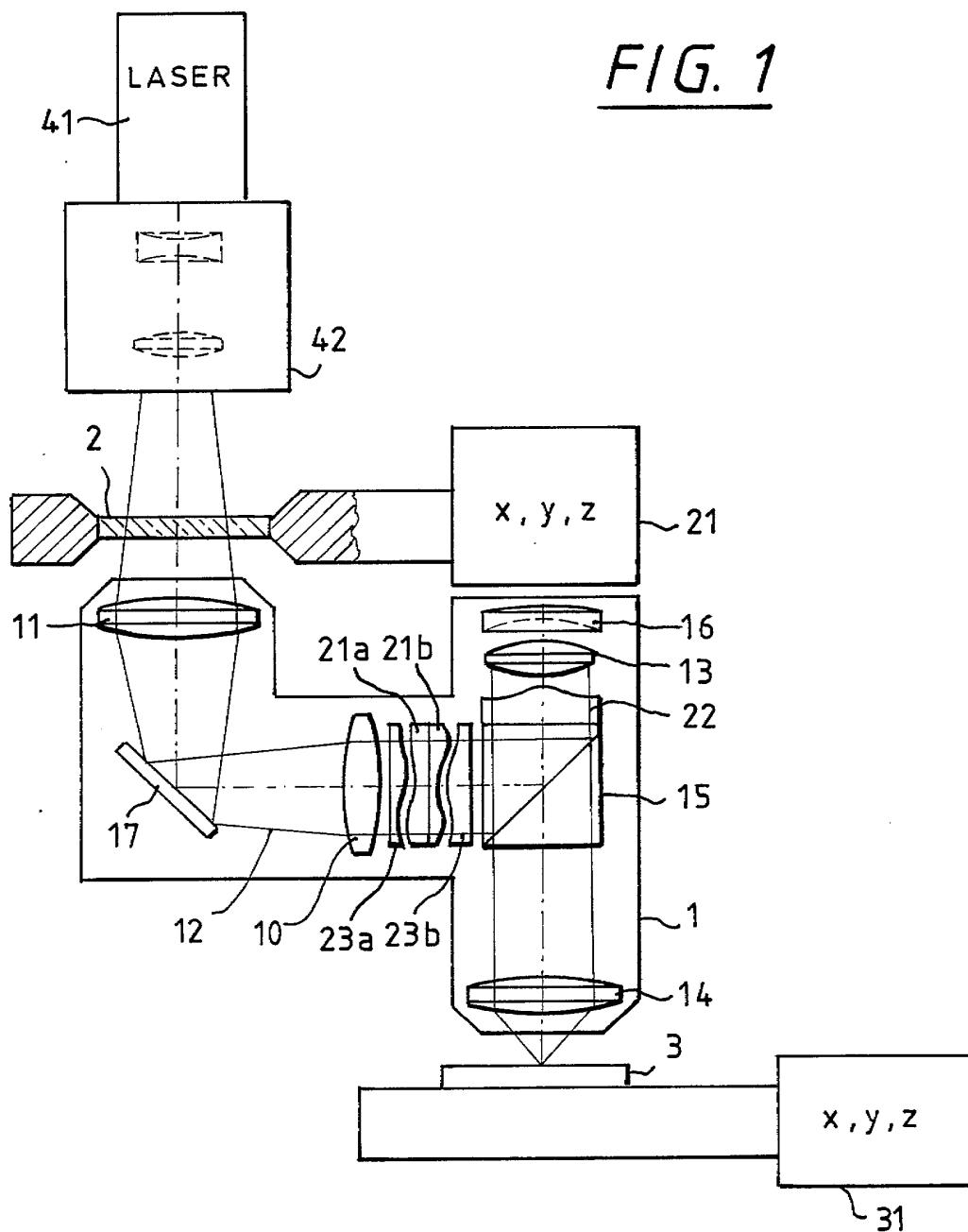


FIG. 2

